ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
TECHNOSPHERE SAFETY





УДК 528.9
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-4-16-28

Оригинальное эмпирическое исследование

Обоснование критериев и оценка экологической безопасности при эксплуатации объектов метрополитена



EDN: WUEXOJ

С.А. Жуков
АО «Мосинжпроект», г. Москва, Российская Федерация
✉ fragrante@mail.ru

Аннотация

Введение. В современном мире, где темпы урбанизации неуклонно растут, экологическая безопасность выступает в качестве критического аспекта городского планирования и управления. Эксплуатация метрополитенов, будучи важной частью городской инфраструктуры, вносит свой вклад в мобильность населения, но также может стать источником значительных экологических проблем. Данная тема исследована в трудах таких ученых, как Е.Ю. Куликова, Д.С. Конюхов, Е.В. Потапова, С.В. Баловцев, Д.Ю. Чунюк и др. Однако в их работах практически не учитывается тот факт, что одной из основных угроз экологической безопасности является ухудшение состояния тоннельной обделки под воздействием гидрогеологических процессов, которые не только усиливают риск аварийных ситуаций, но и повышают вероятность негативного воздействия на подземные воды и окружающую среду в целом. Поэтому исследование характера развития дефектов в тоннельных обделках и их динамики представляет научно-практический интерес и является целью данной работы. Для реализации поставленной цели необходимо проанализировать связи между состоянием тоннельной обделки и экологической безопасностью, основываясь на данных о дефектах конструкций тоннелей метрополитена и их влиянии на окружающую среду.

Материалы и методы. Материалами для данного исследования послужили дефектные участки обделки перегонных тоннелей некоторых линий Московского метрополитена. Проведены натурные исследования состояния обделки и геодезическая съемка туннеля, которые продемонстрировали значительные изменения показателей, по сравнению с нормативными, в результате взаимодействия техногенной среды с окружающей природой. При проведении исследования использованы также методы сейсмоакустического обследования обделки тоннеля с помощью ударного возбуждения.

Результаты исследования. Получены данные о зависимости развития дефектов от изменения уровня грунтовых вод. Дефекты тоннельной обделки способствуют утечке химически активных веществ в грунт и подземные воды, что угрожает биоразнообразию и снижает качество воды, используемой населением.

Обсуждение и заключение. Проведенные натурные изыскания показали, что дефекты тоннельной обделки, такие как трещины, выщелачивание бетона и нарушение гидроизоляции, оказывают прямое влияние на экологическую безопасность. Таким образом, поддержание целостности тоннельной обделки является ключевым элементом обеспечения экологической безопасности в городских условиях. Результаты проведенных исследований будут служить фундаментом для разработки комплексных предложений по улучшению методов мониторинга и обеспечения структурной целостности тоннельных конструкций.

Ключевые слова: метрополитен, экологическая безопасность, устойчивое развитие, городская транспортная система, экологические стандарты, инновационные технологии, риски

Благодарности. Автор благодарит руководителя научного проекта ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», кандидата технических наук, доцента А.Т. Иванова, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника исследовательского центра М.В. Сидорова за проведенные ими экспертные интервью, а также коллектив АО «Мосметрострой» за помощь в организации исследования.

Для цитирования. Жуков С.А. Обоснование критериев и оценка экологической безопасности при эксплуатации объектов метрополитена. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2024;8(4):16–28. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-4-16-28

Original Empirical Research

Justification of Criteria and Assessment of Environmental Safety during the Operation of Metro Facilities

Sergey A. Zhukov
Mosinzhproekt AO, Moscow, Russian Federation
fragrante@mail.ru

Abstract

Introduction. In today's world, with the increasing pace of urbanization, environmental safety plays a crucial role in urban planning and management. Subway operations, as an important part of urban infrastructure, contribute to population mobility, but they can also cause significant environmental problems. Such scientists as Kulikova E.Yu., Konyukhov D.S., Potapova E.V., Balovtsev S.V., Chunyuk D.Yu., etc have studied these issues. However, their research mostly ignores the fact that one of the major threats to environmental safety is the degradation of tunnel linings due to hydrogeological processes. This not only increases the risk of accidents but also increases the likelihood of negative impacts on groundwater and the environment. Therefore, the study of the nature of the development of defects in tunnel linings and their dynamics over time is of both scientific and practical interest, and is the aim of this research. To achieve this objective, it is necessary to analyze the relationship between the condition of the tunnel lining and environmental safety based on data about defects in subway tunnel structures and their impact on the environment.

Materials and Methods. For this study, we used defective sections of the subway tunnel linings from several lines of the Moscow Metro as materials. We conducted field studies of the lining's condition and geodetic surveys of the tunnels, which revealed significant changes in the indicators compared to the normative values as a result of the interaction between the human-made environment and the surrounding nature. Additionally, we employed seismoacoustic inspection methods to inspect the tunnel linings using shock excitation.

Results. Data on the dependence of defect development on changes in groundwater level has been obtained. Defects in tunnel linings contribute to the leakage of chemically active substances into soil and groundwater, which threatens biodiversity and reduces water quality used by the population.

Discussion and Conclusion. Field surveys have shown that defects in tunnel linings, such as cracks, concrete leaching, and waterproofing violations, have a direct impact on environmental safety. Therefore, maintaining the integrity of these structures is a key element in ensuring environmental safety in urban areas. The results of this research will form the basis for developing comprehensive proposals to improve monitoring techniques and ensure the structural integrity of tunnel structures.

Keywords: metro, environmental safety, sustainable development, urban transport system, environmental standards, innovative technologies

Acknowledgements. The author would like to thank the Head of the scientific project at the Scientific and Engineering Center of the Tunnel Association OOO, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor A.T. Ivanov, and Dr. Sci. (Eng.), Professor, Leading Researcher at the research center M.V. Sidorov, for their expert interviews together with the author of the article, as well to as the staff of Mosmetrostroy AO for their assistance in organizing the research.

For Citation. Zhukov SA. Justification of Criteria and Assessment of Environmental Safety during the Operation of Metro Facilities. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2024;8(4):16–28. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-4-16-28

Введение. Строительство и эксплуатация метрополитена сопровождаются активизацией экологических рисков [1], связанных с проявлением геологических и геохимических опасностей, шумовых, вибрационных, биологических воздействий и др. [2]. При этом в качестве основных критериев, которые прежде всего надо учитывать при управлении экологическими рисками на объектах метрополитена являются:

– *технические*, которые направлены на минимизацию потенциальных аварий и нештатных ситуаций (минимизация попадания опасных и вредных веществ, используемых в технологическом процессе, в компоненты биосферы);

– *экономические*, призванные минимизировать инвестиционные риски при эксплуатации конкретного объекта метрополитена;

– *нормативно-правовые*, направленные на обеспечение геоэкологической, технологической и эксплуатационной безопасности на объектах метрополитена;

– *ресурсные*, регулирующие интенсивность использования природных ресурсов при эксплуатации метрополитена;

– *ландшафтно-географические,* имеющие цель сократить нежелательное экологическое воздействие на географические компоненты природно-технической геосистемы.

Контроль за вышеуказанными критериями может быть эффективным только при совокупном применении геотехнического и геоэкологического мониторинга.

Следует учитывать, что одним из самых серьезных факторов, приводящих к снижению экологической безопасности тоннелей метрополитена [3], является геологический риск [4]. Более того, именно гидрогеологическая составляющая геологического риска определяет характер снижения надежности и долговечности подземных объектов метрополитена [5]. При этом в несущих конструкциях тоннелей могут стремительно развиваться такие дефекты, как течи, свищи, эллиптичность и пр., обусловленные сопутствующими прорывами плывунов, воды и выносом рыхлого заполнителя в заобделочное пространство тоннелей [6]. Цель данной статьи — проанализировать развитие дефектов в тоннелях метрополитена, выявить их динамику, а также определить влияние состояния тоннельной обделки на окружающую среду.

Материалы и методы. Материалом для данного исследования послужили результаты обследования отделки туннеля метро, проведенного с помощью геодезической съемки сейсмоакустическими методами с применением ударного возбуждения.

Эксплуатационный режим объектов метрополитена во много определяется характером изменения напряженно-деформированного состояния породного массива, вмещающего подземный объект, и гидрогеологической обстановкой в районе его размещения. Изменчивость гидрогеологической обстановки во времени чаще всего приводит к развитию деформационных процессов [7], в результате которых износ обделки тоннелей увеличивается, происходит снижение эксплуатационных характеристик объекта [8]. Это особенно важно учитывать при ведении работ в неустойчивых несвязных грунтах, изменение структуры которых приводит к формированию дефектов в тоннельной обделке и выносу в выработанное пространство рыхлого заполнителя и больших объемов водных масс [9].

Колебания гидростатического давления в подобных грунтах может привести к быстрому развитию аварийных ситуаций, связанных с ослаблением прочностных характеристик обделки, изменением структуры вышележащих грунтов и, соответственно, оседанием земной поверхности, влекущим деформации и разрушения подземных коммуникаций, зданий и сооружений на поверхности. Снижение герметичности тоннельной обделки свидетельствует о снижении гидростатического давления во вмещающем массиве, что может вызвать аварийную или нештатную ситуацию.

Классический мониторинг гидрологической обстановки в тоннелях метрополитена [10] является неотъемлемой частью обеспечения экологической безопасности эксплуатации его объектов [11]. На рис. 1–4 представлены фотоматериалы мониторинга перегонного тоннеля одной из линий Московского метрополитена.

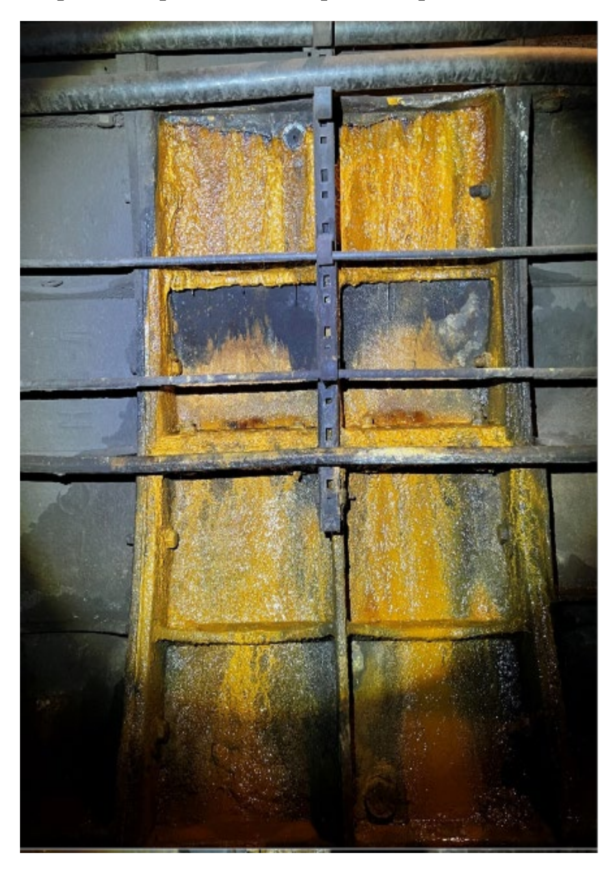


Рис. 1. Выщелачивание и мокрое пятно в межкольцевом и межблочном стыке обделки, активная течь

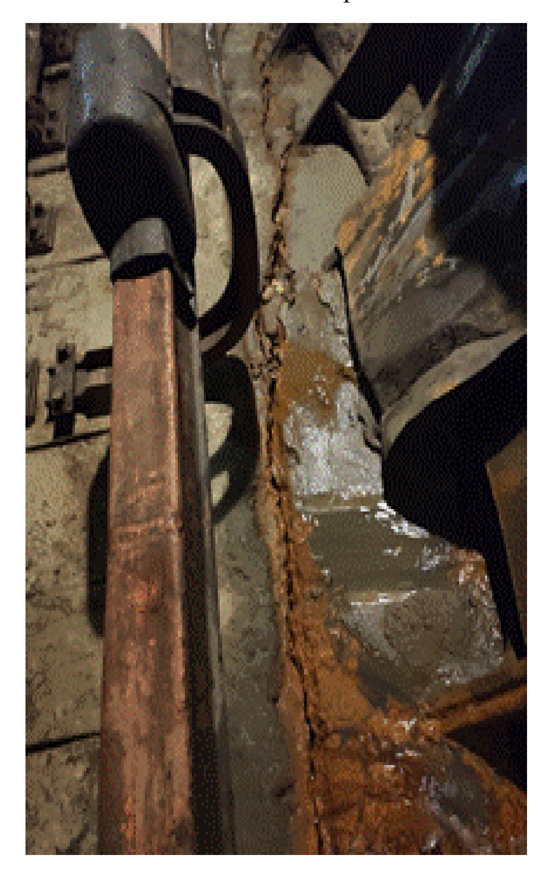


Рис. 2. Вынос грунта в область контактного рельса




Рис. 3. Неисправность болта



Рис. 4. Выщелачивание и мокрое пятно в межкольцевом и межблочном стыке обделки, активная течь. Трещина в спинке тюбинга

Обследование дефектных участков, образовавшихся в результате аварии, позволило систематизировать основные нарушения на перегоне, их возможные причины и последствия развития согласно ГОСТ Р 57208–2016[1] (таблица 1).

Таблица 1

Классификация дефектов

№ п/п	Вид дефекта	Потенциальные причины	Потенциальные последствия
1	Сколы бетона в стеновых блоках и плитах перекрытия, в том числе на некоторых участках с обнажением арматуры	Механическое воздействие	Снижение несущей способности обделки
2	Выщелачивания на стеновых блоках и плитах перекрытия перегонного тоннеля. Мокрые пятна на стеновых блоках. Капеж. Активные течи	Нарушение гидроизоляции	Разрушение бетона в конструкциях, коррозия металла и арматуры. Снижение эксплуатационных характеристик объектов
3	Уступы в стыках плит перекрытий перегонного тоннеля величиной до 30 мм	Ошибки при изготовлении и монтаже	Степень снижения несущей способности определяется расчетом
4	Трещины в плитах перекрытия величиной раскрытия до 0,2 мм	Усадка в результате принятого режима тепловлажностной обработки, состава бетонной смеси, свойств цемента и т.п.	На несущую способность не влияют. Могут снизить долговечность
5	Растрескивание материала заделки швов в стеновых блоках и в плитах перекрытия	При эксплуатации тоннелей и метрополитенов (в том числе вибрационные воздействия от подвижного состава)	Водообводненность конструкций и снижение эксплуатационных характеристик объекта

[1] ГОСТ Р 57208–2016. *Тоннели и метрополитены. Правила обследования и устранения дефектов и повреждений при эксплуатации.* Москва: Стандартформ; 2019. 16 с.

Результаты исследования. Исследование геологических разрезов аварийных участков позволило выявить изменение уровня водоносных горизонтов во времени и структурные преобразования грунтов [12]. Одновременно наблюдались изменения геометрии обделочной конструкции тоннеля.

При геодезической съемке дефектных участков перегонных тоннелей измерения фактических размеров исследуемых конструкций проводились ручным лазерным дальномером Leica DISTO D2. Точность измерений: ±1,5 мм. Были обнаружены значительные нарушения габаритов:

– на ПК0167 + 09 – ПК0167 + 23 (до 303 мм) по I пути;

– на ПК0166 + 73 – ПК0167 + 23 (до 355 мм) по II пути.

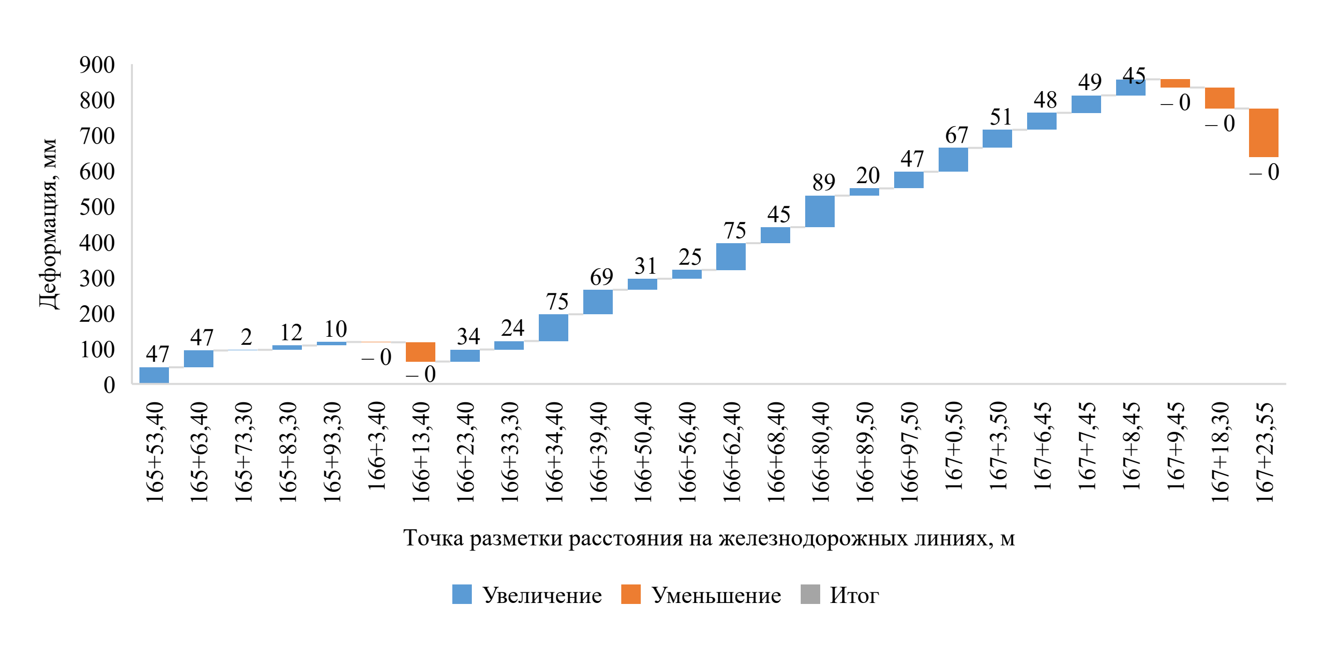
Результаты измерения фактических геометрических размеров конструкций действующих сооружений метрополитена на рассматриваемых проблемных участках приведены в сводных таблицах 2 и 3. Значения деформаций в характерных точках обделки и графическое отображение зависимости деформаций от пикетажа с указанием опасных участков по I и II путям по результатам геодезической съемки показаны на рис. 5–18. Положение характерных точек по I и II путям продемонстрированы на рис. 19.

Таблица 2

Значения деформаций обделки I пути

ПК	1 путь					УГР	
	1 отм.	2 отм.	3 отм.	4 отм.	5 отм.	6 отм.	7 отм.
165+53,40	–86	47	30	76	61	–35	18
165+63,40	–38	47	31	21	–65	–24	6
165+73,30	–44	2	13	22	–4	–11	–3
165+83,30	8	12	23	0	35	1	–1
165+93,30	2	10	3	–34	32	–2	1
166+3,40	18	–1	–73	–40	–44	–9	–11
166+13,40	–19	–54	1	–41	3	–11	–15
166+23,40	18	34	32	–95	–40	–3	–1
166+33,30	86	24	–15	–50	–38	–10	–12
166+34,40	98	75	–25	–98	–103	–7	–8
166+39,40	128	69	–90	–111	–105	–6	–7
166+50,40	100	31	–86	–68	–58	–14	–15
166+56,40	70	25	–56	–53	–49	–20	–22
166+62,40	84	75	–1	–44	–42	–9	–12
166+68,40	91	45	19	–21	–69	–11	–14
166+80,40	53	89	–43	–123	–43	–11	–12
166+89,50	96	20	–67	–75	–63	–22	–23
166+97,50	150	47	–113	–109	–60	–31	–32
167+0,50	144	67	–89	–108	–77	–22	–23
167+3,50	135	51	–76	–89	–81	–28	–27
167+6,45	110	48	–76	–84	–56	–24	–25
167+7,45	99	49	–78	–78	–49	–24	–23
167+8,45	117	45	–85	–81	–51	–22	–21
167+9,45	–172	–23	–187	–182	–352	–21	–21
167+18,30	–150	–59	–303	–351	–322	–10	–9
167+23,55	–188	–137	–138	–224	–351	–4	–5





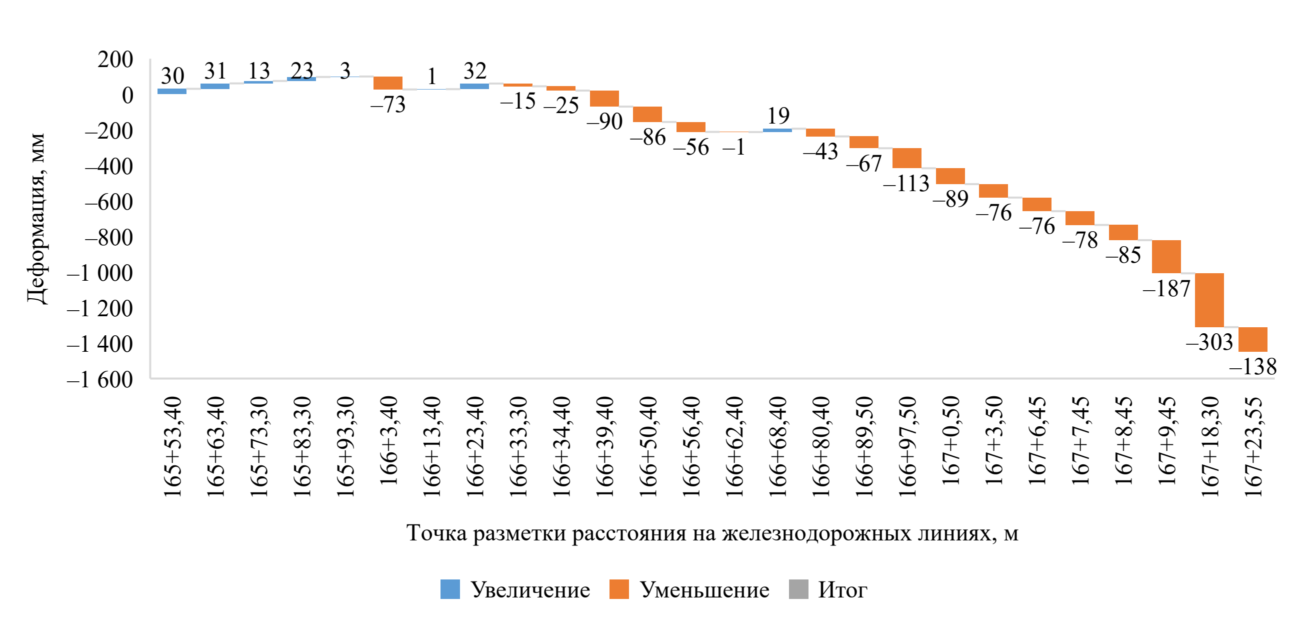


Рис. 7. График деформации обделки I пути 3 отм.

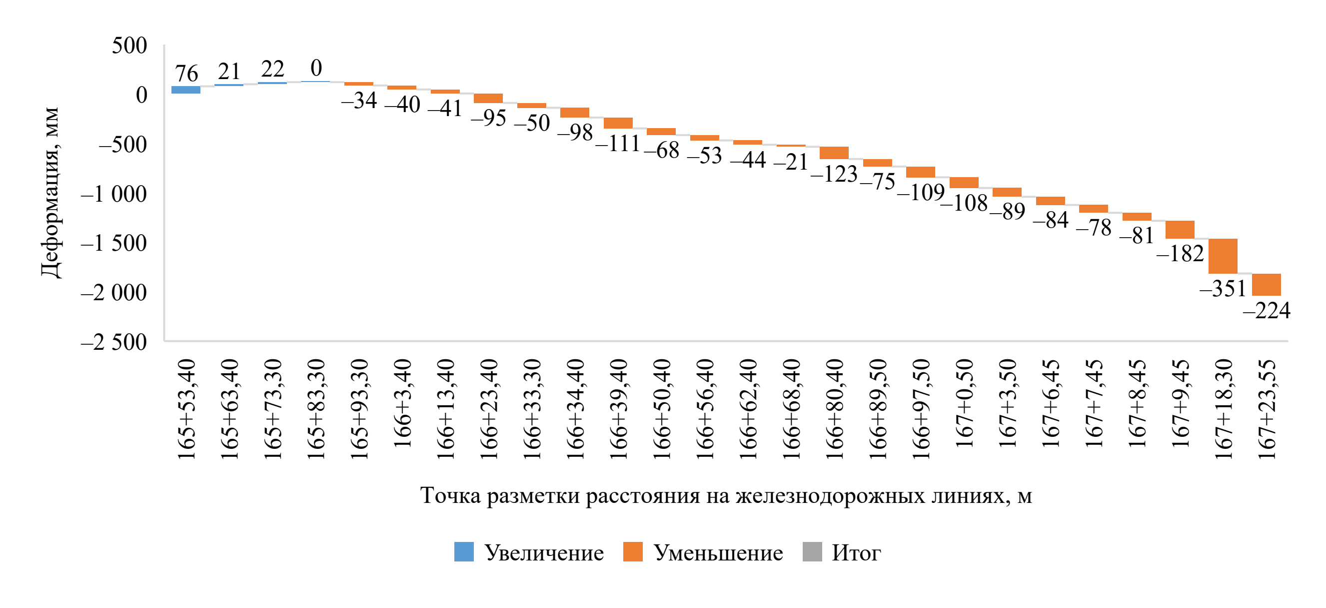


Рис. 8. График деформации обделки I пути 4 отм.

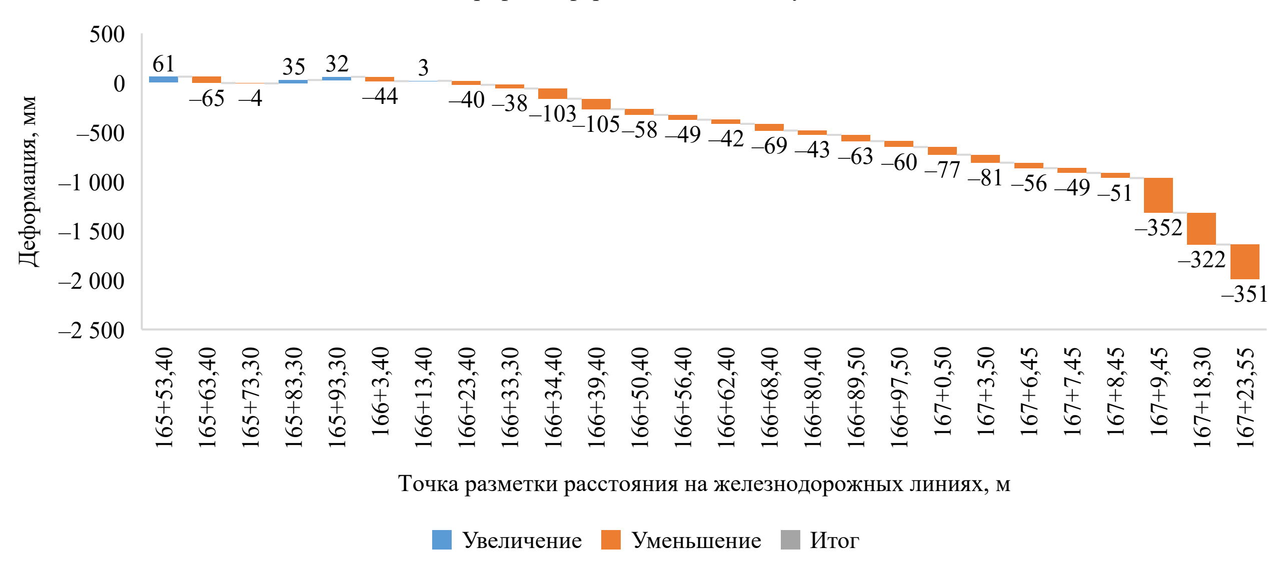


Рис. 9. График деформации обделки I пути 5 отм.

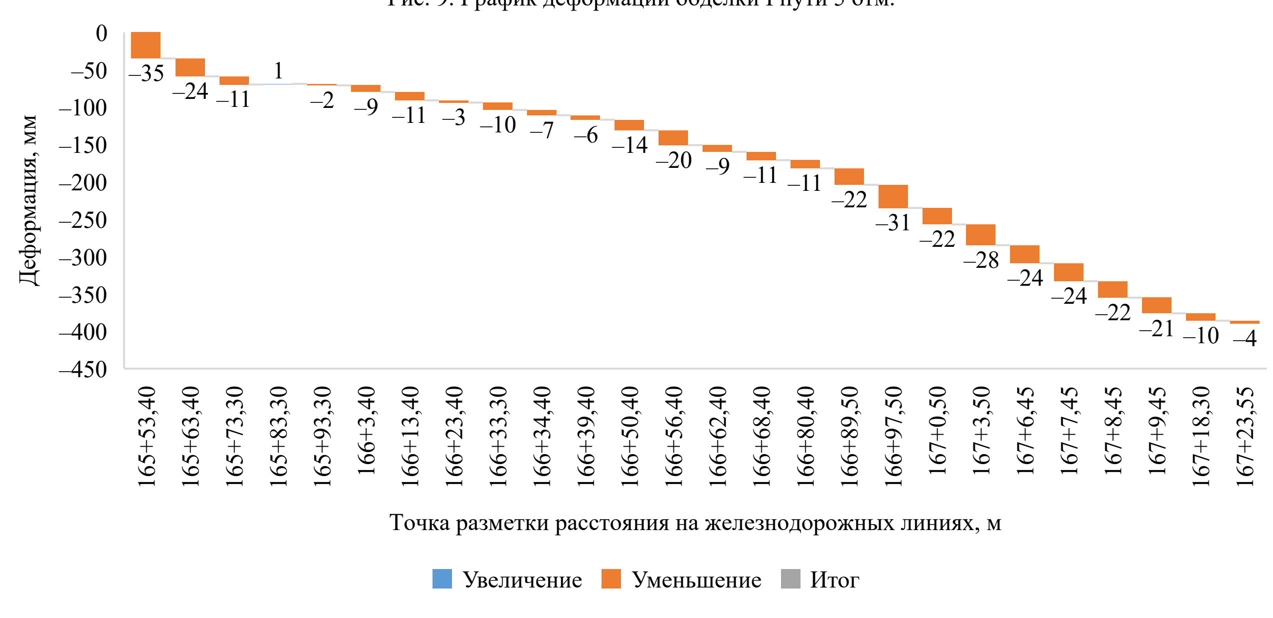


Рис. 10. График деформации обделки I пути 6 отм.

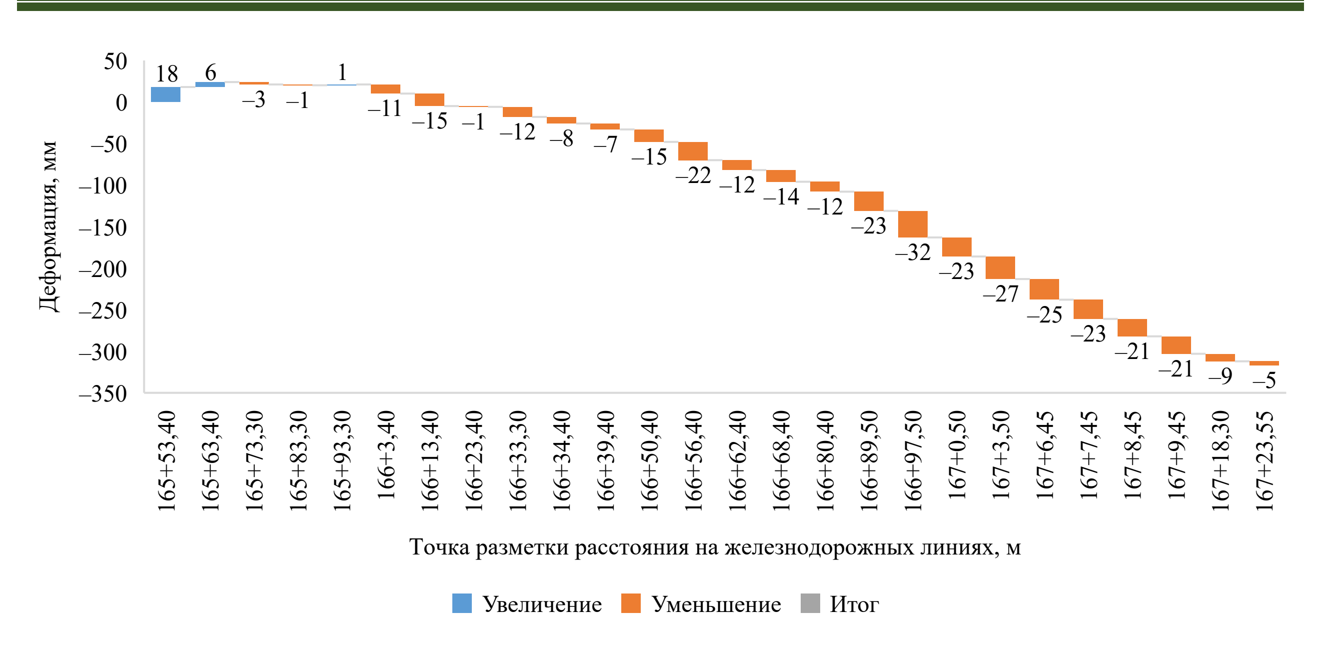


Рис. 11. График деформации обделки I пути 7 отм.

Таблица 3

Значения деформаций обделки II пути

ПК	2 путь					УГР	
	1 отм.	2 отм.	3 отм.	4 отм.	5 отм.	6 отм.	7 отм.
165+69,10	–85	–71	–55	62	95	–19	–2
165+79,10	5	–8	2	17	26	–7	–5
165+89,10	–36	0	–45	–37	–30	–8	–5
165+99,20	–37	43	–32	–40	0	–6	–5
166+19,30	–38	11	58	33	0	–9	–10
166+29,30	–40	–18	16	39	38	–10	–11
166+39,30	45	14	–85	12	39	–19	–18
166+49,30	40	14	–163	–102	0	–21	–20
166+59,30	60	55	–86	–146	–80	–18	–19
166+69,30	150	47	–77	–1	–119	–5	–4
166+79,30	167	21	–129	–154	–119	–21	–19
166+99,40	194	–66	–271	–209	–95	–111	–105
167+4,40	166	–80	–268	–185	–84	–125	–127
167+7,40	261	11	–267	–284	–197	–127	–127
167+9,40	142	–66	–270	–227	–61	–131	–127
167+10,40	210	7	–273	–291	–170	–120	–120
167+13,40	231	14	–287	–301	–209	–114	–113
167+14,50	181	–92	–301	–242	–83	–77	–75
167+16,40	255	8	–332	–210	–185	–95	–93
167+17,40	210	–3	–334	–235	–181	–87	–85
167+18,40	295	–3	–355	–251	–148	–77	–75
167+19,40	214	–78	–270	–254	–55	–71	–72
167+22,40	209	37	–275	–194	–189	–44	–47
167+23,50	169	46	–261	–235	–120	–39	–42

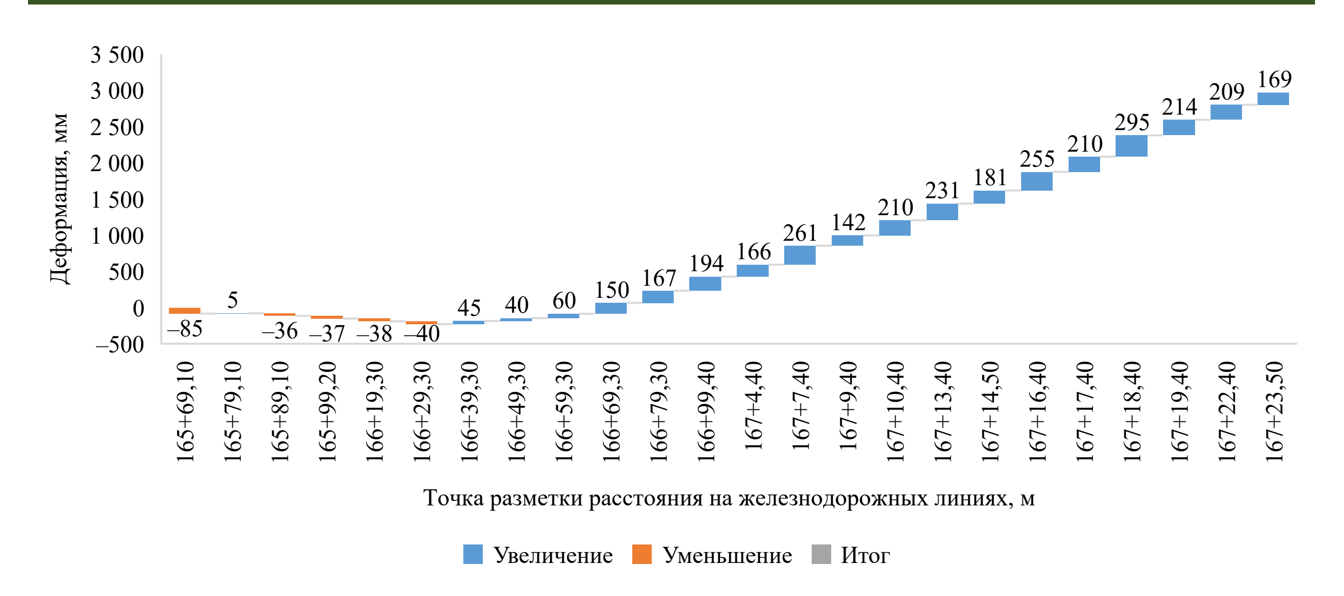


Рис. 12. График деформации обделки II пути 1 отм.

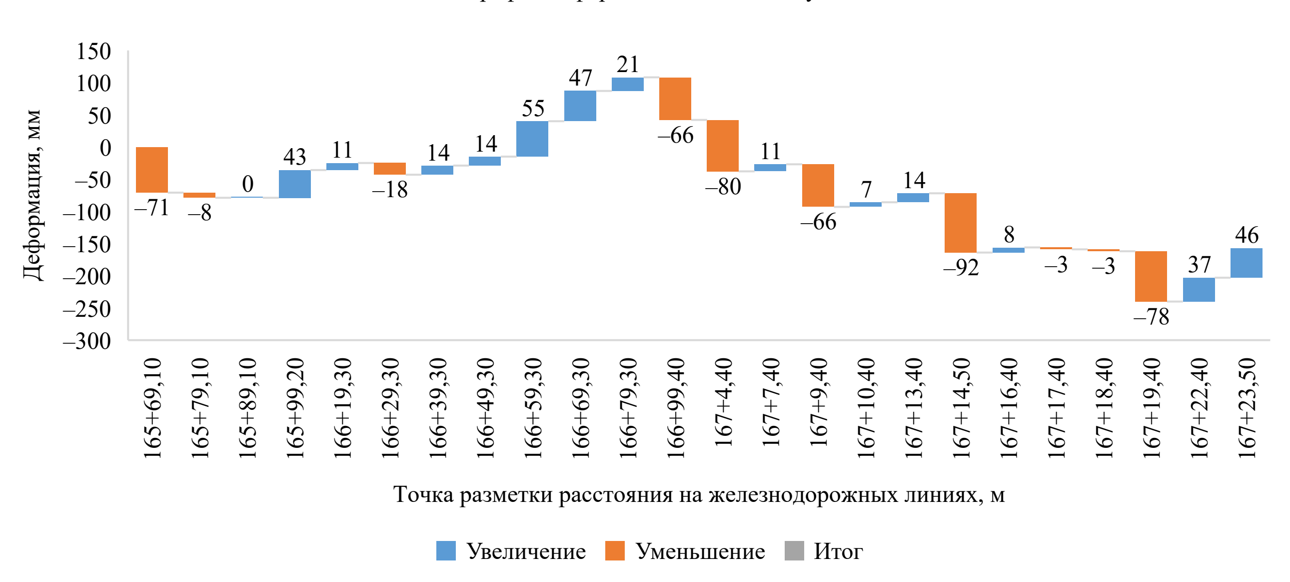


Рис. 13. График деформации обделки II пути 2 отм.

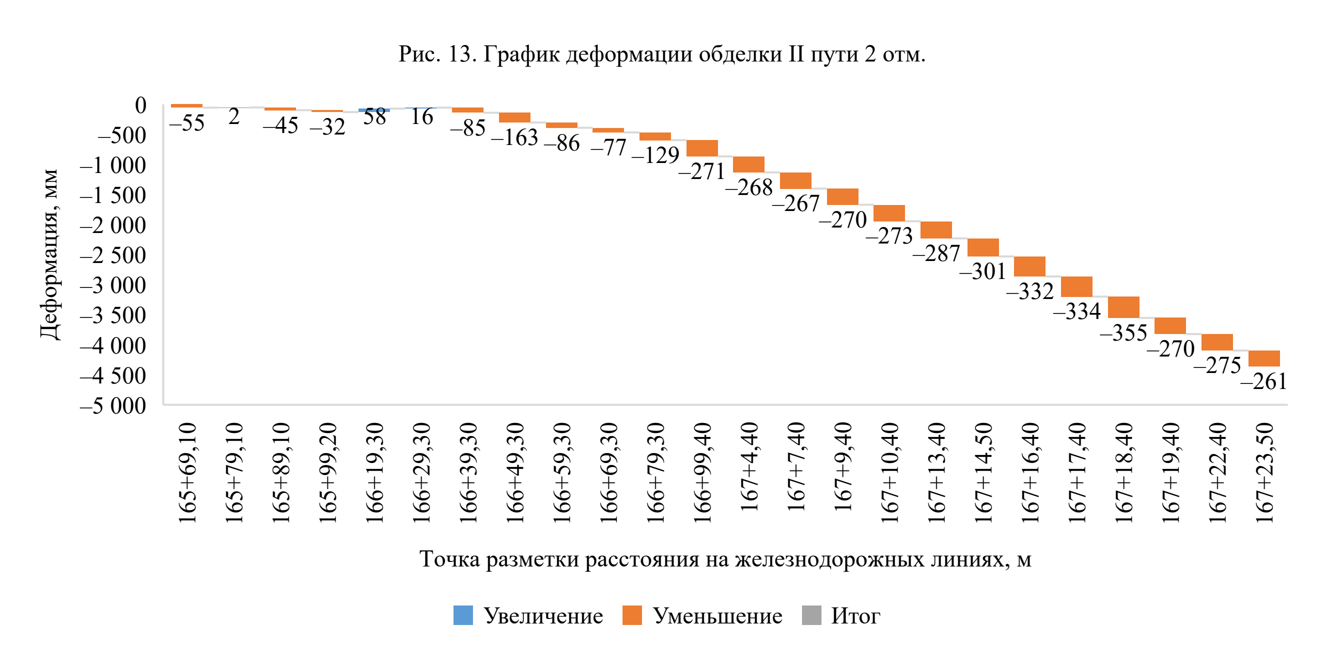


Рис. 14. График деформации обделки II пути 3 отм.

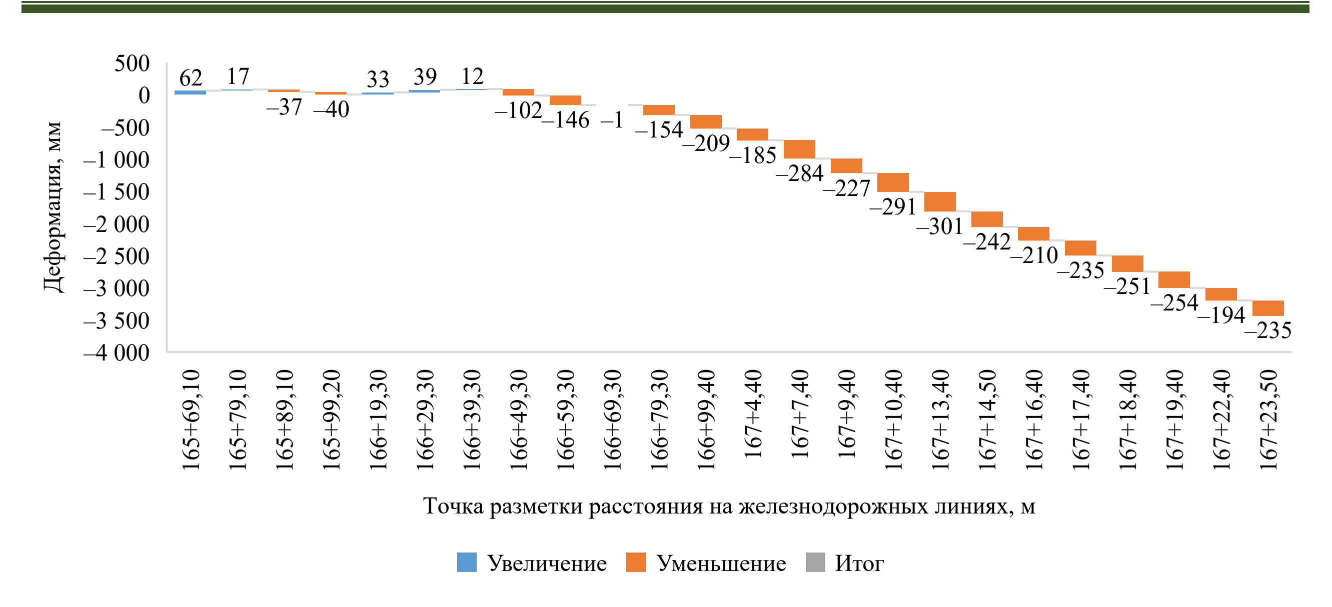


Рис. 15. График деформации обделки II пути 4 отм.

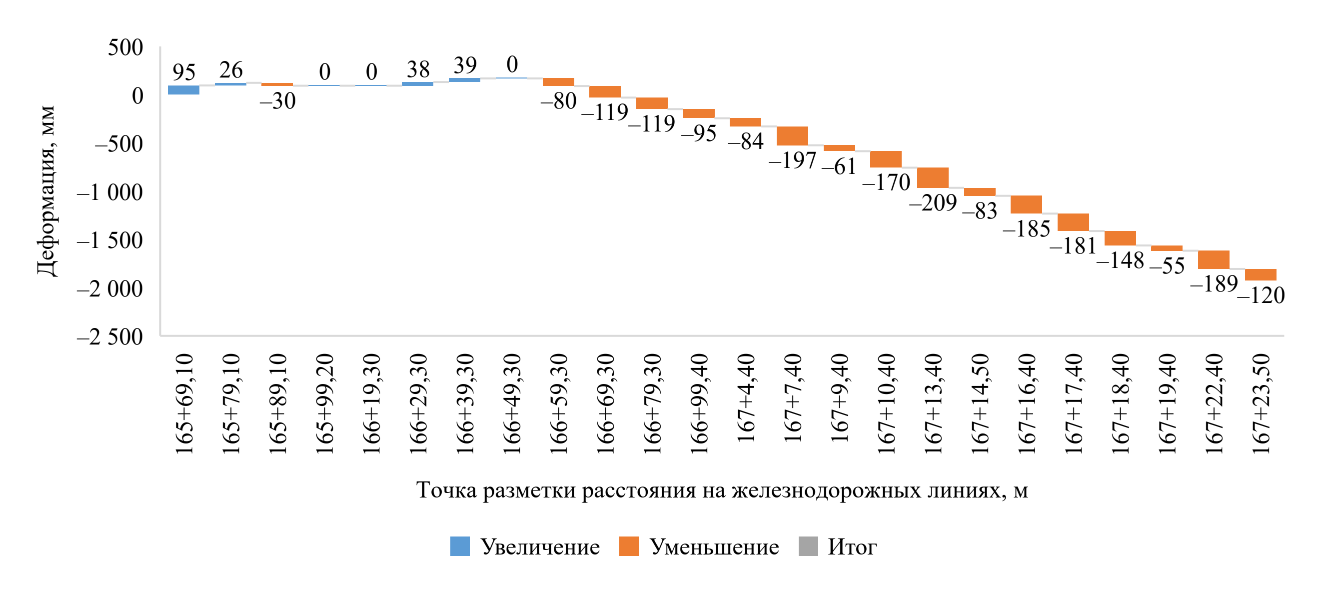


Рис. 16. График деформации обделки II пути 5 отм.

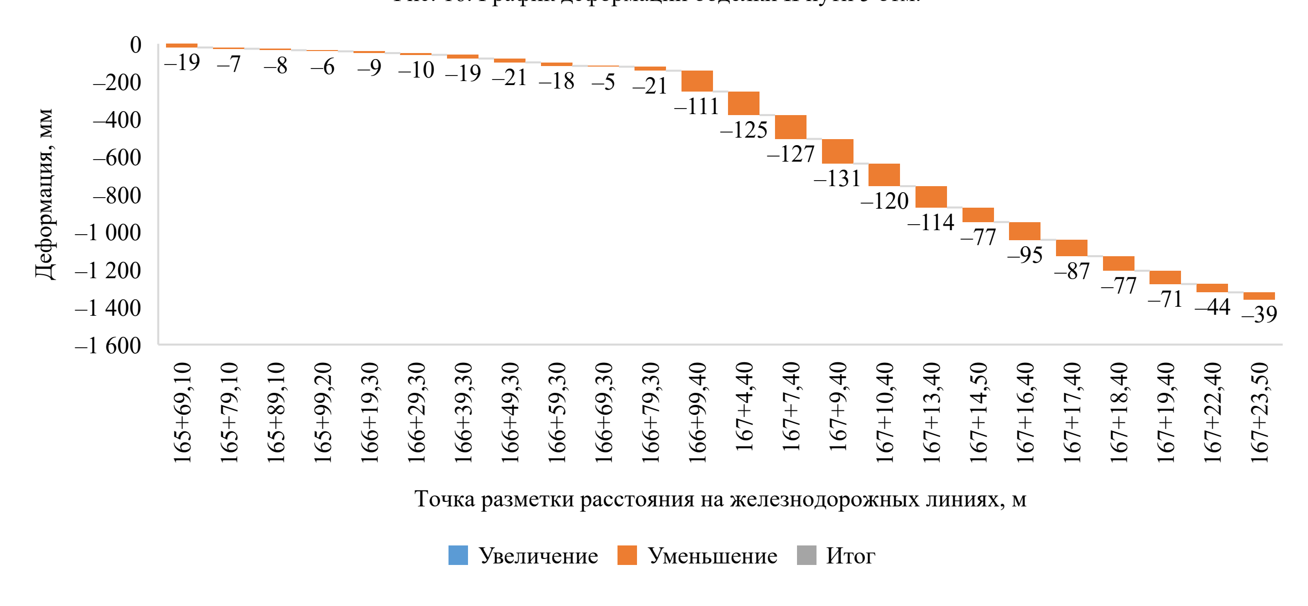


Рис. 17. График деформации обделки II пути 6 отм.

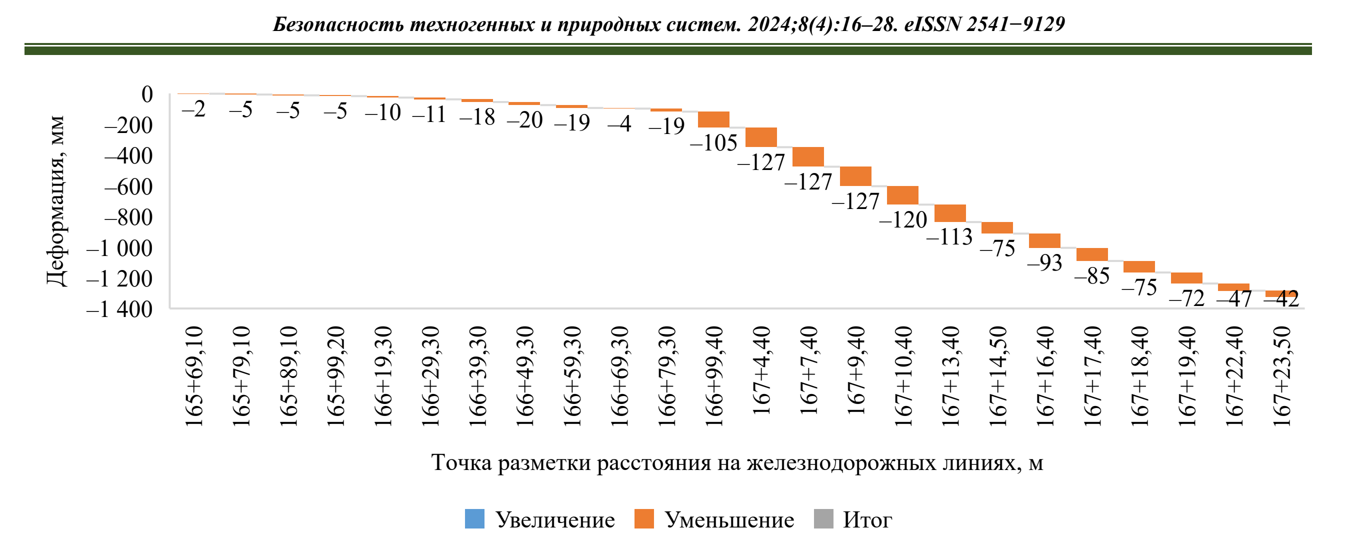


Рис. 18. График деформации обделки II пути 7 отм.

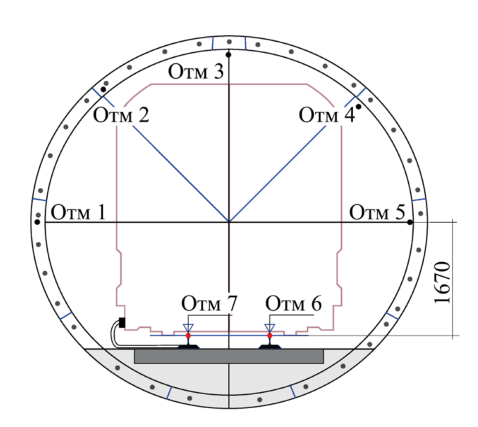


Рис. 19. Положение характерных точек

По данным таблиц 2 и 3 можно заключить, что деформационные процессы пагубно сказываются на состоянии обделки, вызывая ее разрушение [13]. Увеличение притока подземных вод к обделке тоннеля приводит к потере ее антикоррозионных и прочностных свойств, давая возможность водным массам проникать в заобделочное пространство в виде течей и выноса рыхлого заполнителя на путевые участки. Это нашло отражение в составленной автором карте дефектов (рис. 20).

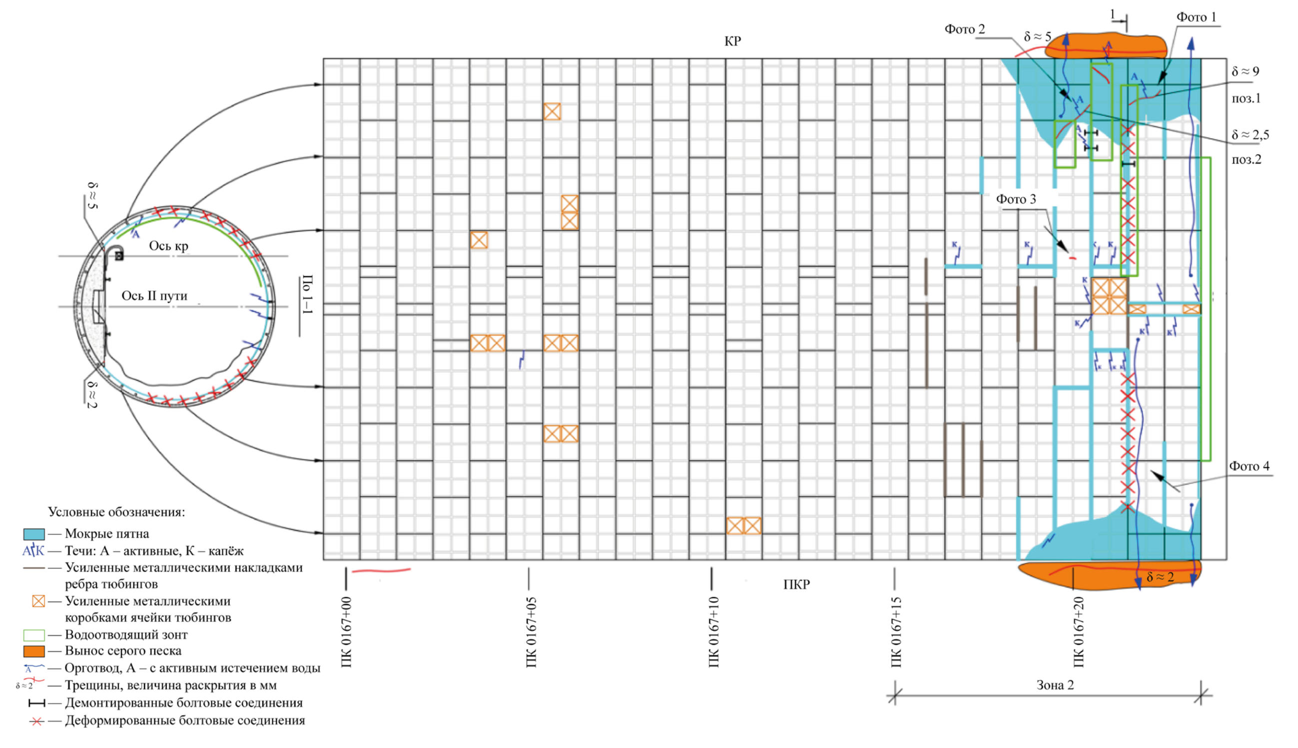


Рис. 20. Карта дефектов обделки, составленная по натурным обследованиям

При использовании метода сейсмоакустического обследования обделки тоннеля [14] с помощью ударного возбуждения (также называемого виброакустическим или сейсмоакустическим методом) выявлены зоны ослабленного контакта «обделка — грунтовый массив». На поверхности тюбинга на специальной досылочной штанге монтировался электродинамический датчик и плотно прижимался к нему. На некотором расстоянии от сейсмодатчика производилось возбуждение обделки с помощью ударника, смонтированного на другой досылочной штанге. Возникала упругая волна, которая при превышении определенного порога регистрировалась. В буфере прибора хранился архив сигналов и откликов, что позволяло фиксировать полную длину отклика обделки. Результаты обследования приведены на рис. 21.



Рис. 21. Результаты сейсмоакустического контроля

Геофизическое обследование закрепного пространства тоннелей позволило выявить зоны с ослабленным контактом «обделка — грунтовый массив»:

– на ПК0166 + 10,0 в лотковой зоне с левой стороны перегонного тоннеля;
– на ПК0166 + 20,0 на уровне горизонтального диаметра с левой стороны перегонного тоннеля;
– на ПК0166 + 30,0 в лотковой зоне с левой стороны перегонного тоннеля;
– на ПК0166 + 40,0 в лотковой зоне с левой стороны перегонного тоннеля;
– от ПК0166 + 87,0 до ПК0166 + 96,0 ниже уровня горизонтального диаметра в правой части перегонного тоннеля;
– на ПК0167 + 10,0 в лотковой зоне с правой стороны перегонного тоннеля;
– от ПК0167 + 19,0 до ПК167 + 24,1 по всему сечению тоннеля.

В заобделочном пространстве правого перегонного тоннеля на участке от ПК0166 + 00,0 до ПК0167 + 24,1 по II пути зон с ослабленным контактом «обделка — грунтовый массив» менее 3 %.

Обсуждение и заключение. Натурные изыскания показали, что дефекты тоннельной обделки (трещины, выщелачивание бетона и нарушение гидроизоляции) оказывают прямое влияние на уровень экологической безопасности. Эти дефекты способствуют утечке загрязненных вод и химически активных веществ в грунт, что угрожает биоразнообразию и качеству воды, используемой населением. Таким образом, поддержание целостности тоннельной обделки является ключевым элементом обеспечения экологической безопасности в городских условиях.

Полученные результаты данного исследования планируется использовать как основу для разработки предложений по улучшению качества мониторинга и поддержанию структурной целостности тоннельных конструкций, что позволит минимизировать экологические риски и повысить уровень безопасности городского подземного транспорта.

Список литературы / References

1. Куликова Е.Ю., Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Комплексная оценка геотехнических рисков в шахтном и подземном строительстве. *Устойчивое развитие горных территорий.* 2023;15(1):7–16. http://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16

Kulikova EYu, Balovtsev SV, Skopintseva OV. Complex Estimation of Geotechnical Risks in Mine and Underground Construction. *Sustainable development of mountain territories.* 2023;15(1):7–16. (In Russ.) http://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16

2. Куликова Е.Ю. Управление безопасностью и риском в подземном строительстве как сложный информационный процесс. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* 2021;2(1):134–143. http://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-134-143

Kulikova EYu. Safety and Risk Management in Underground Construction as a Complex Information. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2021;2(1):134–143. (In Russ.) http://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-134-143

3. Xi-Cun He, Ye-Shuang Xu, Shui-Long Shen, An-Nan Zhou. Geological Environment Problems during Metro Shield Tunnelling in Shenzhen, China. *Arabian Journal of Geosciences.* 2020;13(2):87. http://doi.org/10.1007/s12517-020-5071-z

4. Ye-Shuang Xu, Jack Shuilong Shen, An-Nan Zhou, Arul Arulrajah. Geological and Hydrogeological Environment with Geohazards during Underground Construction in Hangzhou: A Review. *Arabian Journal of Geosciences.* 2018;11:544. http://doi.org/10.1007/s12517-018-3894-7

5. Xing-Tao Lin, Ren-Peng Chen, Huai-Na Wu, Hong-Zhan Cheng. Deformation Behaviors of Existing Tunnels Caused by Shield Tunneling Undercrossing with Oblique Angle. *Tunneling and Underground Space Technology.* 2019;89:78–90. http://doi.org/10.1016/j.tust.2019.03.021

6. Merisalu J, Sundell J, Rosén L. Probabilistic Cost-Benefit Analysis for Mitigating Hydrogeological Risks in Underground Construction. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2023;131:104815. http://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104815

7. Конюхов Д.С. Критериальный анализ современных технологий подземного строительства. *Геотехника*. 2021;1:40–55.

Konyukhov DS. Criteria Analysis of Modern Technologies of Underground Construction. *Geotechnics.* 2021;1:40–55. (In Russ.)

8. Konyukhov DS. Analysis of Mechanized Tunneling Parameters to Determine the Overcutting Characteristics. *Mining Science and Technology (Russia).* 2022;7(1):49–56 http://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-1-49-56

9. Lebedev MO. Choosing a Calculation Method for Stress-Strain of Supports and Lining of Transport Tunnels. In: *16th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2018)*. Hong Kong; 2018, P. 678–687.

10. Гарбер В.А. Нештатные ситуации в подземных транспортных сооружениях. *Подземные горизонты*. 2018;16:20–25.

Garber VA. Non-Standard Situations in Underground Transport Facilities. *Underground Horizons*. 2018;16:20–25. (In Russ.)

11. Куликова Е.Ю. Методические основы повышения эколого-технологической надежности городских подземных сооружений. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* 2020;6(1):176–185. http://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185

Kulikova EYu. Methodical Principles for Improving the Ecological and Technological Reliability of Urban Underground Structures. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2020;6(1): 176–185. (In Russ.) http://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185

12. Kulikova EYu, Balovtsev SV. Risk Control System for the Construction of Urban Underground Structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020;962(4):042020. http://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020

13. Потапова Е.В. Типология сооружений метрополитена для задач классификации геотехнических рисков. *Горные науки и технологии*. 2021;6(1):52–60. http://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-52-60

Potapova EV. Typology of Metro Structures for the Tasks of Geotechnical Risk Classification. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(1):52–60. (In Russ.) http://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-52-60

14. Kuepferle J, Röttger A, Theisen W, Alber M. Wear Prediction for Soft-Ground Tunneling Tools — A New Approach Regarding the Dominant Influencing Factors in the Tribological System of Tunneling Tools. In: *Proceeding of the World Tunnel Congress 2017 — Surface challenges — Underground solutions.* Bergen, Norway; 2017.

Об авторе:

Сергей Анатольевич Жуков, генеральный директор АО «Мосинжпроект» (101000, Российская Федерация, г. Москва, пер. Сверчков, 4/1), ORCID, fragrante@mail.ru

Конфликт интересов: **автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Sergey A. Zhukov, CEO, Mosinzhproekt AO (4/1, Sverchkov Lane, Moscow, 101000, Russian Federation), ORCID, fragrante@mail.ru

Conflict of Interest Statement: **the author does not have any conflict of interest.**

The author has read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 06.08.2024
Поступила после рецензирования / Revised 21.08.2024
Принята к публикации / Accepted 08.09.2024